

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
14 juillet 2005 (14.07.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/064570 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**G09B 21/00**, 19/04

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/003365

(22) Date de dépôt international :  
23 décembre 2004 (23.12.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0315379 24 décembre 2003 (24.12.2003) FR

(71) Déposant et

(72) Inventeur : **BELLER, Isi** [FR/FR]; 46, rue Saint-André  
des Arts, F-75006 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **VIALA,  
Christophe** [FR/FR]; 39, Chemin de la Buge, F-83110  
Sanary sur Mer (FR).

(74) Mandataire : **PLACAIS, Jean-Yves**; Cabinet Netter, 36,  
avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,  
SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.*

(54) Title: DEVICE FOR TREATING AUDIO SIGNALS, ESPECIALLY FOR TREATING AUDIOPHONATORY DISORDERS

(54) Titre : DISPOSITIF DE TRAITEMENT DE SIGNAUX AUDIO, NOTAMMENT POUR LE TRAITEMENT DES  
TROUBLES AUDIOPHONATOIRES

(57) Abstract: The invention relates to a device for the digital treatment of audio signals, especially for treating patients with audio-  
phonatory disorders. Said device comprises an analog audiofrequency signal input (E), an analog-digital encoder (2), an envelope  
detector (6), a digital limiter (10), a multiplier (12), a synthesiser (14), and a digital-analog converter (16). The invention is charac-  
terised in that: the analog-digital encoder (2) is arranged in such a way as to reflect the input analog audiofrequency signal by a first  
sequence of digital values; the envelope detector (6) is arranged in such a way as to establish, from the first sequence of digital values,  
a second sequence of digital values reflecting the envelope of the input audiofrequency signal; the digital limiter (10) is arranged in  
such a way as to establish a third sequence of defined digital values, from the second sequence of digital values; the multiplier (12)  
is arranged in such a way as to establish a sequence of modulated emission frequency values according to the values of the third  
sequence of digital values; the synthesiser (14) is arranged in such a way as to elaborate a digital audio signal from the sequence  
of emission frequency values; and the digital-analog converter (16) is arranged in such a way as to produce an output analog signal  
from the digital audio signal.

(57) Abrégé : Dispositif de traitement numérique de signaux audio, destiné en particulier au traitement de sujets atteints de  
troubles audiophonatoires. Le dispositif comprend une entrée de signal audiofréquence analogique (E), suivie d'un codeur  
analogiquennumérique (2), puis d'un détecteur d'enveloppe (6), d'un limiteur numérique (10), d'un multiplieur (12), d'un synthétiseur  
(14), et enfin d'un convertisseur numérique-analogique (16), tels que le codeur analogique-numérique (2) est agencé pour refléter le  
signal audiofréquence analogique d'entrée par une première suite de valeurs numériques, le détecteur d'enveloppe (6) est agencé  
pour établir à partir de, la première suite de valeurs numériques une seconde suite de valeurs numériques reflétant l'enveloppe  
du signal audiofréquence d'entrée, le limiteur numérique (10) est agencé pour établir une troisième suite de valeurs numériques,  
bornées, à partir de la seconde suite de valeurs numériques, le multiplieur (12) est agencé pour établir une suite de valeurs de  
fréquences d'émission modulées selon les valeurs de la troisième suite de valeurs numériques, le synthétiseur (14) est agencé pour  
élaborer un signal audio numérique à partir de la suite de valeurs de fréquences d'émission, et le convertisseur numérique-analogique  
(16) est agencé pour produire un signal analogique de sortie à partir du signal audio numérique.

WO 2005/064570 A1

Dispositif de traitement de signaux audio, notamment pour le traitement des troubles audiophonatoires.

L'invention concerne les aides au traitement des troubles audiophonatoires et auditivo-verbaux présentés par certains sujets, le plus souvent de jeunes enfants.

Des dispositifs pour le traitement par voie auditive de sujets atteints de troubles audiophonatoires sont déjà connus. En particulier, FR-A-2 686 442 propose une installation propre à élaborer, à partir d'un signal audiofréquence d'entrée, un signal paramétrique dont l'amplitude et/ou la fréquence varient en fonction du logarithme de la fréquence et/ou de l'amplitude du signal d'entrée. L'élaboration du signal paramétrique se fait en analogique.

Différents facteurs, dont le coût des appareils, leur encombrement, et leur commodité d'emploi, font qu'il est souhaitable d'effectuer le traitement sous forme numérique. Cela permettrait notamment d'utiliser des fichiers contenus dans un disque dur, au lieu des cassettes magnétiques et des disques compacts de l'art antérieur. Cependant, le passage en numérique s'est heurté à des difficultés considérables : non-linéarité du traitement et difficulté de corriger certains effets indus de l'échantillonnage et de la numérisation.

La présente invention vient permettre d'avancer dans cette voie.

Pour ce faire, l'invention prévoit un dispositif comprenant une entrée de signal audiofréquence analogique, suivie d'un codeur analogique-numérique, puis d'un détecteur d'enveloppe, d'un limiteur numérique, d'un multiplieur, d'un synthétiseur, et enfin d'un convertisseur numérique-analogique, tels que

- le codeur analogique-numérique est agencé pour refléter le signal audiofréquence analogique d'entrée par une première suite de valeurs numériques,
- 5 - le détecteur d'enveloppe est agencé pour établir à partir de la première suite de valeurs numériques une seconde suite de valeurs numériques reflétant l'enveloppe du signal audiofréquence d'entrée,
- 10 - le limiteur numérique est agencé pour établir une troisième suite de valeurs numériques, bornées, à partir de la seconde suite de valeurs numériques,
- 15 - le multiplieur est agencé pour établir une suite de valeurs de fréquences d'émission modulées selon les valeurs de la troisième suite de valeurs numériques,
- le synthétiseur est agencé pour élaborer un signal audio numérique à partir de la suite de valeurs de fréquences d'émission, et
- 20 - le convertisseur numérique-analogique est agencé pour produire un signal analogique de sortie à partir du signal audio numérique.
- 25

Le dispositif selon l'invention permet ainsi d'obtenir un signal analogique de sortie dont la fréquence est modulée en fonction du signal audiofréquence analogique d'entrée et dont l'élaboration se fait en numérique.

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, ainsi que des dessins annexés, sur lesquels :

- 35 - la figure 1 est un schéma présentant un appareil

d'aide au traitement des troubles audiophonatoires de l'art antérieur, et

5 - la figure 2 est un schéma fonctionnel du dispositif de traitement selon l'invention.

L'annexe 1 présente les lois mathématiques utilisées dans le dispositif de la figure 2.

10 Les dessins et l'annexe contiennent, pour l'essentiel, des éléments de caractère certain. Ils pourront donc non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition le cas échéant.

15 La figure 1 illustre le dispositif de traitement de troubles auditivo-verbaux selon FR-A-2 686 442, dans lequel un convertisseur audiofréquence 1 est capable d'élaborer, à partir d'un signal audiofréquence soumis à son entrée E, un signal paramétrique dispensé à sa sortie S dont l'amplitude  
20 et/ou la fréquence varient en fonction du logarithme de la fréquence et/ou de l'amplitude du signal d'entrée. L'élaboration du signal paramétrique de sortie se fait en analogique.

25 Le convertisseur audiofréquence 1 est monté entre un commutateur d'entrée CE et un commutateur de sortie CS. Le commutateur CE permet de relier l'entrée E du convertisseur soit à la sortie de lecture d'une tête magnétique TM1 d'un magnéto-  
30 phone à cassette MC1, de préférence de haute qualité sonore, soit à la sortie d'un lecteur de disques compacts audio, soit à la sortie d'un microphone M, également de haute qualité. L'une et l'autre sorties peuvent être amplifiées par des préamplificateurs AM1 et M1.

35 La sortie S du convertisseur audiofréquence peut être appliquée par le commutateur CS soit à une chaîne de repro-

duction sonore à deux voies A, soit à l'entrée d'enregistrement d'une tête magnétique TM2 d'un magnétophone à cassette MC2, qui peut d'ailleurs être le même que le magnétophone à cassette MC1.

5

Les commutateurs CE et CS permettent une liaison directe entre le microphone M, l'ampli A, et le magnétophone MC2.

La chaîne de reproduction sonore A comporte des réglages de  
10 niveaux individuels et d'équilibrage pour chaque voie, associés à un moyen de mesure précis, et des sorties par des transducteurs électro-acoustiques, par exemple des hauts-parleurs T1, T2 destinés respectivement aux oreilles gauche et droite du sujet. Un casque peut également être prévu.

15

Afin d'obtenir un meilleur traitement du signal audiofré-  
quence d'entrée et de tirer le meilleur parti des supports  
numériques récents, le dispositif selon l'invention prévoit  
de remplacer le convertisseur audiofréquence 1 de la figure 1  
20 par le dispositif de traitement 3 représenté sur la figure 2,  
lequel élabore le signal paramétrique de sortie numériquement.

Pour ce faire, le dispositif de traitement numérique selon  
25 l'invention est prévu capable de recevoir à son entrée E un signal audiofréquence analogique d'entrée qui peut être une combinaison de signaux analogiques provenant du sujet à traiter et du thérapeute.

30 Le signal audiofréquence analogique d'entrée est soumis à l'entrée d'un codeur analogique-numérique 2, lequel détermine à intervalles de temps réguliers (période d'échantillonnage)  $\Delta T$ , la valeur de l'amplitude  $S(i)$  du signal soumis à l'entrée et la code numériquement. Le codeur analogique-numérique 2  
35 produit en sortie une suite de valeurs numériques d'amplitude

$S(i)$  qui reflète le signal fourni en entrée, c'est-à-dire le signal audiofréquence analogique d'entrée.

Dans un mode de réalisation préféré, une carte son, disposée dans un ordinateur personnel, fait fonction de codeur analogique-numérique 2. La période d'échantillonnage  $\Delta T$  est alors fixée par les caractéristiques techniques de la carte son. Par exemple, une fréquence d'échantillonnage de 48 kilohertz, c'est-à-dire une période d'échantillonnage  $\Delta T$  voisine de 0.02 milliseconde, est courante sur les cartes son actuellement disponibles sur le marché.

Dans ce même mode de réalisation, l'entrée E du dispositif selon l'invention est l'une des entrées disponibles sur la carte son, couramment une entrée ligne ou une entrée microphone.

Le suite de valeurs numériques  $S(i)$  obtenue à la sortie du codeur analogique-numérique 2 est ensuite soumise à l'entrée d'un filtre passe bande numérique 4 qui bloque les fréquences inférieures à une première fréquence de coupure  $FC1$  et les fréquences supérieures à une seconde fréquence de coupure  $FC2$ . Le filtre passe bande peut être réalisé au moyen de deux filtres de Butterworth disposés en cascade : un filtre passe haut de fréquence de coupure  $FC1$  suivi d'un filtre passe bas de fréquence de coupure  $FC2$ . Dans un mode de réalisation préféré, la première fréquence de coupure  $FC1$  est voisine de 230 Hz tandis que la seconde fréquence de coupure  $FC2$  est proche de 3200 Hz.

30

Dans ce mode de réalisation, la fréquence fondamentale moyenne de la voix étant voisine de 120 Hz pour les hommes et de 210 Hz pour les femmes, le filtre passe bande numérique 4 est de bande suffisamment large pour permettre le passage des informations contenues dans le signal audiofréquence d'entrée dans le cas où celui-ci contient du langage. Le milieu de la

35

bande de fréquences définie par le filtre passe bande 4 est bien supérieur à la fréquence estimée d'un signal audiofré-  
quence comprenant du langage. De fait, le filtre passe  
bande 4 filtre une grande partie des fréquences graves et  
5 laisse passer une grande partie des fréquences aiguës.

La suite de valeurs numériques d'amplitude  $S(i)$ , obtenue en  
sortie du filtre passe-bande 4, est soumise à l'entrée d'un  
détecteur d'enveloppe 6, lequel réalise sur la suite de  
10 valeurs numériques d'amplitude  $S(i)$  un traitement numérique  
selon la loi A1 de l'annexe. À chaque valeur numérique  
d'amplitude  $S(i)$ , le détecteur d'enveloppe 6 associe une  
valeur numérique d'amplitude d'enveloppe  $Se(i)$ , comme étant  
la plus grande valeur d'un groupe formé de la valeur absolue  
15 de la valeur numérique d'amplitude  $S(i)$  et de la valeur  
absolue de la valeur numérique d'amplitude d'enveloppe  
précédente  $Se(i-1)$  affectée d'un coefficient  $Kd$ . La valeur du  
coefficient  $Kd$  est déterminée à l'aide de la formule A2 de  
l'annexe, laquelle prévoit de prendre le coefficient  $Kd$  égal  
20 à l'exponentielle de l'opposé du rapport de la période  
d'échantillonnage  $\Delta T$  sur la valeur d'une période de démodula-  
tion  $Td$  choisie. La valeur de la période de démodulation  $Td$   
est réglable. À titre d'exemple, la période de démodulation  
 $Td$  peut être prise égale à 0,04 seconde.

25 La formule A1 de l'annexe est une formule classique d'un  
détecteur de maximum, modifiée par l'introduction du coeffi-  
cient  $Kd$ , dont la fonction est de fixer la bande de fréquen-  
ces désirée pour le signal d'enveloppe obtenu en sortie du  
30 détecteur d'enveloppe 6. La formule A2 de l'annexe, relative  
au calcul du coefficient  $Kd$  permet ainsi de choisir la valeur  
de la période de démodulation  $Td$  en rapport avec la bande de  
fréquences, dans laquelle on veut contenir la sortie du  
détecteur d'enveloppe 6.

35

Un filtre numérique passe bas 8 est appliqué au signal de

sortie du détecteur d'enveloppe 6, qui bloque les fréquences supérieures à une troisième fréquence de coupure  $FC3$ , laquelle est réglable. Dans un mode de réalisation préféré, le filtre numérique passe bas 8 est réalisé au moyen d'un  
5 filtre passe bas de Butterworth d'ordre 1 et de fréquence de coupure  $FC3$  voisine de 24 Hz.

Le filtre passe bas 8 est destiné à atténuer les modulations rapides du signal fourni à son entrée. Le signal obtenu en  
10 sortie du filtre passe bas 8 rend compte d'un effet de traîne nécessaire pour éviter que le signal obtenu en sortie du détecteur d'enveloppe 6 ne soit trop "haché".

La suite de valeurs numériques d'amplitude d'enveloppe  
15 filtrées  $S_e(i)$ , obtenue à la sortie du filtre numérique passe bas 8, est ensuite soumise à l'entrée d'un limiteur 10, lequel fournit en sortie une suite de valeurs numériques de modulation  $Sl(i)$ , bornées, selon la formule A3 de l'annexe. Chaque valeur numérique de modulation  $Sl(i)$  est calculée  
20 comme étant le rapport, élevé à la puissance d'un coefficient  $K1$ , de la valeur numérique d'amplitude d'enveloppe filtrée  $S_e(i)$  sur une valeur d'amplitude seuil  $s$  choisie. La valeur d'amplitude seuil  $s$  est réglable.

25 La valeur du coefficient  $K1$  est déterminée par la formule A4 de l'annexe comme étant l'opposé du rapport du logarithme d'un rapport d'une fréquence d'émission minimale  $F1$  et d'une fréquence d'émission maximale  $F0$  choisies, sur le logarithme de la valeur d'amplitude seuil  $s$ .

30

La fréquence d'émission minimale  $F1$  est réglable. Avantageusement, elle est choisie très largement supérieure à la fréquence fondamentale du signal audiofréquence analogique d'entrée. Dans un mode de réalisation préféré, la fréquence  
35 d'émission minimale  $F1$  est choisie voisine de 4000 Hz en considérant que la fréquence fondamentale d'un signal



provenant d'une voix humaine est voisine de 210 Hz pour les femmes et de 120 Hz pour les hommes.

La fréquence d'émission maximale  $F0$  est réglable. Elle est choisie supérieure à la limite ultrasonique du sujet à traiter, c'est-à-dire supérieure à la plus haute fréquence audible par le sujet. La limite ultrasonique est une donnée qui dépend du sujet. Par exemple, chez le jeune enfant, une limite ultrasonique de 20 kilohertz est courante alors que chez des sujets plus âgés elle peut ne pas dépasser 10 kilohertz.

La valeur de l'amplitude seuil  $s$  est choisie toujours supérieure à 0,01, pour des raisons qui seront détaillées plus loin. Dans un mode de réalisation préféré, la valeur de l'amplitude seuil  $s$  est choisie voisine de 0,03.

La suite de valeurs numériques de modulation  $Sl(i)$  est ensuite présentée à l'entrée d'un multiplieur 12, lequel détermine une suite de valeurs de fréquences d'émission modulées  $F(i)$  selon la formule A5 de l'annexe. Une valeur numérique de fréquence d'émission modulée  $F(i)$  est calculée comme produit de la fréquence d'émission maximale  $F0$  et de la valeur numérique de modulation  $Sl(i)$  correspondante, si ledit produit est inférieur à la fréquence d'émission maximale  $F0$ . Sinon la valeur numérique  $F(i)$  est fixée égale à la valeur de la fréquence d'émission maximale  $F0$ . Le multiplieur 12 permet ainsi d'établir une suite de valeurs numériques de fréquences d'émission  $F(i)$  modulées selon les valeurs de la suite de valeurs numériques de modulation  $Sl(i)$  obtenue en sortie du limiteur 10.

Les valeurs numériques de fréquences d'émission  $F(i)$  dépendent, selon la formule A5 de l'annexe, des valeurs numériques de modulation  $Sl(i)$ , lesquelles sont fonction des valeurs numériques d'amplitude d'enveloppe filtrées  $Se(i)$  donc

- fonction des valeurs numériques d'amplitude d'enveloppe  $Se(i)$ , elles-même reflétant l'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée. Par conséquent, les variations des valeurs numériques de fréquences d'émission  $F(i)$  rendent compte des variations d'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée. En particulier, lorsque l'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée est importante, c'est-à-dire pour un fort volume sonore, la valeur numérique de la fréquence d'émission correspondante sera faible. Inversement, plus l'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée est proche de la valeur d'amplitude seuil  $s$ , plus la fréquence d'émission modulée  $F(i)$  sera importante.
- Selon les formules A3, A4 et A5 de l'annexe, le logarithme de la fréquence d'émission modulée  $F(i)$  est une fonction linéaire du logarithme de la valeur de l'amplitude de l'enveloppe filtrée  $Se(i)$  correspondante. Or, il est connu que l'oreille humaine est sensible aux fréquences et aux amplitudes de manière logarithmique. La perception que le sujet a des fréquences d'émission modulées  $F(i)$  rend compte de manière parfaitement équivalente, des variations d'amplitude du signal audiofréquence analogique d'entrée.
- Au moyen de la formule A3 de l'annexe, le limiteur 10 détermine des valeurs numériques de modulation  $Sl(i)$  telles, que les valeurs numériques de fréquences d'émission modulées  $F(i)$ , obtenues en sortie du multiplieur 12, sont toujours comprises dans un domaine de fréquences délimité par les valeurs de la fréquence d'émission minimale  $F1$  et de la fréquence d'émission maximale  $F0$ .

En particulier, lorsqu'une valeur numérique d'amplitude d'enveloppe  $Se(i)$  est égale à la valeur de l'amplitude seuil  $s$ , la valeur numérique de modulation  $Sl(i)$ , calculée par le limiteur 10 à l'aide de la formule A3 de l'annexe, vaut 1 ce

qui entraîne que la valeur de la fréquence d'émission modulée correspondante  $F(i)$  prend la valeur de la fréquence d'émission maximale  $F0$ . Pour une valeur numérique d'amplitude d'enveloppe filtrée  $Se(i)$  inférieure à la valeur d'amplitude  
5 seuil  $s$ , la valeur numérique de modulation  $Sl(i)$  correspondante est supérieure à la valeur 1, ce qui implique que la valeur numérique de la fréquence d'émission modulée  $F(i)$  prend la valeur de la fréquence d'émission maximale  $F0$ , laquelle est inaudible pour le sujet puisque choisie supérieure  
10 à la limite ultrasonique comme décrit plus haut.

Ainsi, les valeurs de fréquences d'émission modulées  $F(i)$  ne rendent pas compte de variations d'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée, pour des  
15 amplitudes inférieures à la valeur d'amplitude seuil  $s$ . La valeur seuil  $s$  représente donc une valeur d'amplitude sonore au-dessous de laquelle on considère que le signal audiofréquence analogique d'entrée ne représente pas d'informations dignes d'être rendues au moyen d'une modulation de fréquence.  
20 On peut considérer que le choix de la valeur d'amplitude seuil  $s$  fixe le niveau de détail désiré dans l'application du dispositif selon l'invention. En effet, plus la valeur d'amplitude seuil  $s$  est élevée moins la modulation rendra compte de détails dans le signal audiofréquence analogique  
25 d'entrée.

De préférence, la valeur d'amplitude seuil  $s$  est prise supérieure à 0,01 en considérant que cette valeur correspond à la valeur limite séparant le bruit du langage.

30 L'ensemble constitué du détecteur d'enveloppe 6, du limiteur 10 et du multiplieur 12 associe ainsi à une gamme d'amplitude de l'enveloppe du signal audiofréquence analogique d'entrée, une gamme de fréquences d'émission en correspondance.

35 Le synthétiseur 14 élabore pour chaque valeur numérique de

fréquence d'émission  $F(i)$  un signal numérique d'amplitude constante choisie et réglable, et dont la fréquence fondamentale correspond à la valeur numérique de la fréquence d'émission  $F(i)$ . Pour chaque fréquence fondamentale définie  
5 précédemment, le synthétiseur 14 détermine le nombre d'harmoniques qu'il peut générer compte tenu de la limite supérieure en fréquence imposée par la fréquence d'échantillonnage (théorème de Shannon), laquelle est l'inverse de la période d'échantillonnage  $\Delta T$ . Le synthétiseur  
10 14 élabore les harmoniques précédemment déterminées en sommant les séries de Fourier d'un signal carré, en appliquant à chaque harmonique de rang  $n$ , le coefficient  $1/n$  lorsque  $n$  est pair et le coefficient  $-1/n$  lorsque  $n$  est impaire.

15

Bien que l'amplitude du signal numérique élaboré par le synthétiseur 14 soit constante et indépendante de la fréquence d'émission modulée  $F(i)$ , l'amplitude perçue par le sujet est, elle, dépendante de la fréquence d'émission  
20 modulée  $F(i)$  à cause de la forme du spectre audible humain. En particulier, plus la fréquence d'émission modulée  $F(i)$  est élevée, plus l'amplitude perçue par le sujet est faible.

Le signal audio numérique obtenu en sortie du synthétiseur 14  
25 est ensuite appliqué à l'entrée d'un convertisseur numérique-analogique qui élabore, à partir dudit signal audio numérique, un signal analogique de sortie, qui peut être soumis au patient à traiter par l'intermédiaire d'un casque ou d'enceintes. Avantageusement, le convertisseur numérique-analogique peut être une carte son insérée dans un ordinateur  
30 personnel. Dans un mode de réalisation préféré, la fonction de convertisseur numérique-analogique est réalisée par la même carte son que celle qui réalise la fonction de convertisseur analogique-numérique 2, précédemment décrite.

35

Le signal analogique de sortie est perçu par le patient bien

distinct du signal audiofréquence analogique d'entrée car de fondamentale largement supérieure à la fréquence de la voix, comme indiqué plus haut. Ceci est important lorsque l'on décide d'associer le signal audiofréquence analogique d'entrée et le signal analogique de sortie, comme décrit plus loin. Dans ce cas, le choix des fréquences de coupure FC1 et FC2 du filtre passe bande 4 détermine la gamme de fréquences disponible pour le signal analogique de sortie.

Le signal analogique de sortie étant élaboré avec quelques unes de ses harmoniques, il est plus agréable à entendre pour le patient à traiter.

Chez l'Homme, la "conscience phonologique" repose en particulier sur des automatismes, et sur leur intégration cognitive (sémantique et syntaxique). Le traitement de patients souffrant de troubles auditivo-verbaux, c'est-à-dire des personnes chez qui ces automatismes ont été mal acquis, consiste essentiellement en une rééducation à l'aide du dispositif selon l'invention permettant d'acquérir de nouveau lesdits automatismes.

Dans une première phase de rééducation, on fait entendre au patient un son paramétrique seul obtenu en soumettant à l'entrée du dispositif selon l'invention des échantillons sonores constitués de voix ou de musique. Ces échantillons sonores peuvent provenir du thérapeute par l'intermédiaire d'un microphone relié à l'entrée E du dispositif selon l'invention. Dans un mode de réalisation préféré, les échantillons sonores proviennent d'enregistrements stockés dans une mémoire d'un ordinateur et fournis au dispositif selon l'invention par l'intermédiaire d'un magnétophone logiciel capable de jouer des sons, notamment au format de compression MP3. Dans ce mode de réalisation particulier, l'ordinateur comprend une carte son intégrant les fonctions de codeur analogique-numérique et de convertisseur numérique-

analogique. Dans cette première phase de rééducation, il peut être intéressant d'utiliser comme entrée du dispositif selon l'invention de la musique afin d'habituer le sujet au son paramétrique.

5

Dans une seconde phase du traitement, on fait entendre au patient un son paramétrique seul puis le son naturel d'origine, tel que fourni à l'entrée du dispositif selon l'invention. Le son naturel d'origine est un segment de message (une phrase très courte) d'abord découpé par phonèmes, puis dans un second temps par syllabes et pour finir par éléments syntaxiques.

Une troisième phase du traitement consiste à segmenter le son paramétrique en faisant alterner des temps sourds (silence) et des temps sonores (son paramétrique). Selon une première méthode, les durées des temps sont fixées, les temps sourds étant généralement plus longs (0,5 s par exemple) que les temps sonores (0,3 s par exemple). Il est possible de souligner le basculement d'un temps sourd à un temps sonore en faisant entendre un signal sonore caractéristique (typiquement un "bip"). Un avantage de la présente invention est de baser l'alternance sur le son émis par le patient. On bascule d'un temps sonore à un temps sourd lorsqu'un paramètre atteint une valeur choisie. Par exemple, il est possible de basculer vers un temps sourd lorsque la puissance sonore, respectivement la fréquence, du son émis par le patient atteint un niveau choisi. Un autre paramètre peut être lié au rythme de diction : par exemple, si une voyelle est prononcée trop longtemps, on bascule vers un temps sourd.

La quatrième phase de rééducation est dite active, car le sujet répète ce qu'il entend. On part de mots pré-enregistrés en clair, avec des intervalles permettant au patient de répéter chaque mot. Les mots pré-enregistrés sont soumis au dispositif selon l'invention ainsi que les mots répétés. Dans

le casque, le sujet reçoit le signal paramétrique et le signal naturel. Il est intéressant de travailler en stéréophonie, en appliquant à l'oreille gauche le signal paramétrique et à l'oreille droite le signal naturel, ce qui correspond à la latéralisation fonctionnelle des hémisphères cérébraux (écoute dichotique).

Dans une cinquième phase de rééducation, le sujet répète ce qu'il entend d'une part et lit ce qu'il répète d'autre part.

Dans une sixième phase est un mélange de lecture guidée suivant la méthode décrite ci-dessus, et de lecture libre avec prononciation du texte lu, et audition du texte lu, sous forme d'un mélange de signal paramétrique et de signal naturel.

Enfin, dans une septième phase, le patient écrit ce qu'il entend et on lui laisse du temps pour se relire et se corriger.

Progressivement, on supprime complètement le signal paramétrique.

Dans un mode de réalisation préféré, la carte son décrite plus haut intègre une fonction de mélangeur, non décrite ici car connue de l'homme du métier, qui permet d'obtenir en sortie un mélange entre le signal audiofréquence analogique d'entrée et le signal analogique de sortie mais également de faire du signal audiofréquence analogique d'entrée une combinaison de signaux provenant d'une source de lecture, du thérapeute et du sujet

L'élaboration du signal paramétrique de sortie en numérique offre également une plus grande souplesse d'utilisation du dispositif selon l'invention ainsi qu'une plus grande précision dans le traitement. Ceci permet également de tirer

parti des supports numériques actuels comme le CD mais aussi des supports informatiques comme les mémoires mortes et du format de compression MP3 afin de constituer une base de données d'échantillons sonores.

5

Le dispositif selon l'invention a été ici décrit mis en œuvre dans le traitement des troubles auditivo-verbaux mais il peut également servir de base à une méthode d'apprentissage des langues étrangères. De plus, le dispositif selon l'invention  
10 peut être adapté pour traiter des troubles auditivo-verbaux dans d'autres langues que la langue française.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe  
15 toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art.



## Annexe

$$A1. \quad Se(i) = \max\{|S(i)|, |Kd \times Se(i-1)|\}$$

$$5 \quad A2. \quad Kd = \exp\left[-\frac{\Delta T}{Td}\right]$$

$$A3. \quad Sl(i) = \left(\frac{Se(i)}{s}\right)^{Kl}$$

$$A4. \quad Kl = -\frac{\ln\left(\frac{F1}{F0}\right)}{\ln(s)}$$

10

$$A5. \quad F(i) = \min(F0 \times Sl(i), F0)$$

Revendications

1. Dispositif de traitement numérique de signaux audio, destiné en particulier au traitement de sujets atteints de troubles audiophonatoires, caractérisé en ce qu'il comprend  
5 une entrée de signal audiofréquence analogique (E), suivie d'un codeur analogique-numérique (2), puis d'un détecteur d'enveloppe (6), d'un limiteur numérique (10), d'un multiplieur (12), d'un synthétiseur (14), et enfin d'un convertisseur numérique-analogique (16), et en ce que  
10

- le codeur analogique-numérique (2) est agencé pour refléter le signal audiofréquence analogique d'entrée par une première suite de valeurs numériques,  
15

- le détecteur d'enveloppe (6) est agencé pour établir à partir de la première suite de valeurs numériques une seconde suite de valeurs numériques reflétant l'enveloppe du signal audiofréquence d'entrée,  
20

- le limiteur numérique (10) est agencé pour établir une troisième suite de valeurs numériques, bornées, à partir de la seconde suite de valeurs numériques,  
25

- le multiplieur (12) est agencé pour établir une suite de valeurs de fréquences d'émission modulées selon les valeurs de la troisième suite de valeurs numériques,  
30

- le synthétiseur (14) est agencé pour élaborer un signal audio numérique à partir de la suite de valeurs de fréquences d'émission, et  
35

- le convertisseur numérique-analogique (16) est agencé pour produire un signal analogique de sortie à partir du signal audio numérique.

2. Dispositif de traitement numérique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le limiteur (10) est apte à établir la troisième suite de valeurs numériques selon une première loi déterminée pour que les valeurs de fréquences d'émission modulées soient comprises entre une valeur de fréquence inférieure et une valeur de fréquence supérieure choisies.

3. Dispositif de traitement numérique selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite première loi prend en compte les valeurs de la troisième suite de valeurs numériques et une valeur d'amplitude seuil choisie.

4. Dispositif de traitement numérique selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite première loi est fonction :

- d'une valeur seuil,
- du logarithme de la valeur de fréquence inférieure,
- et du logarithme de la valeur de fréquence supérieure.

5. Dispositif de traitement numérique selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite première loi calcule chaque valeur de la troisième suite de valeurs numériques comme étant le rapport d'une valeur de la seconde suite de valeurs numériques sur la valeur d'amplitude seuil élevé à une puissance valant le rapport du logarithme du rapport des première et seconde valeurs de fréquence, sur une valeur seuil.

6. Dispositif de traitement numérique selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le multiplieur réalise le produit des valeurs de la troisième suite de valeurs numériques et de ladite valeur de fréquence supérieure.

7. Dispositif de traitement numérique selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que ladite valeur de fréquence supérieure est choisie voisine de la plus haute fréquence audible par le sujet par valeurs supérieures.

5

8. Dispositif de traitement numérique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour chaque valeur de la suite de valeurs de fréquences d'émission, le synthétiseur (14) élabore un signal de fréquence fondamentale  
10 correspondante avec au moins une harmonique.

9. Dispositif de traitement numérique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un filtre passe-bas numérique (8) entre le détecteur  
15 d'enveloppe (6) et le limiteur numérique (10).

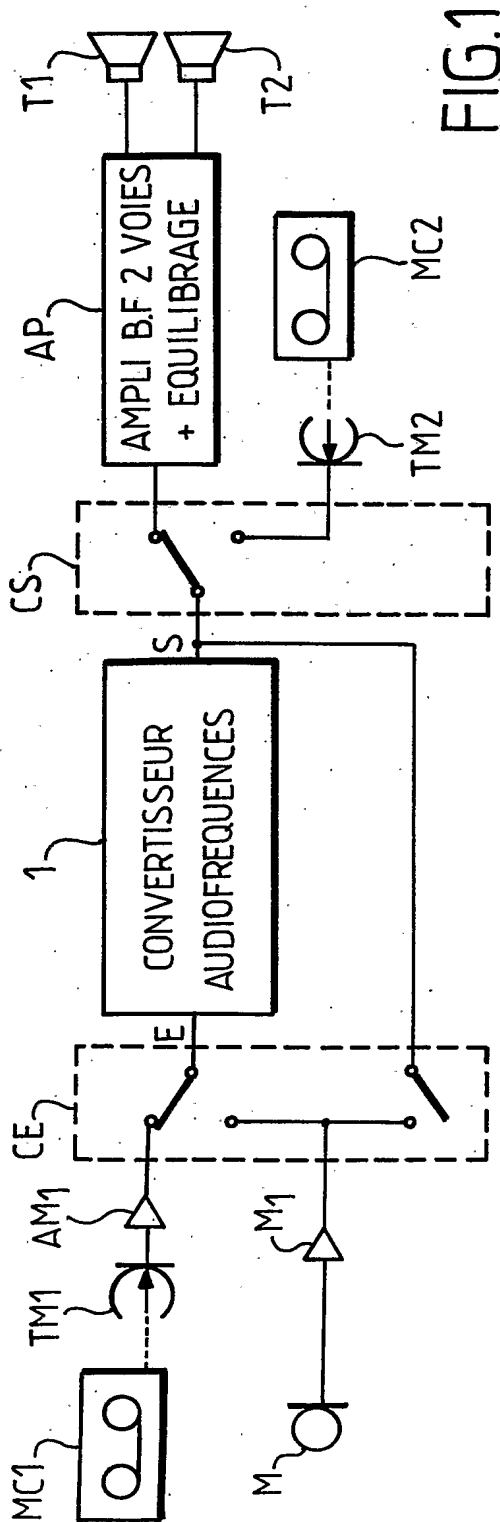


FIG.1

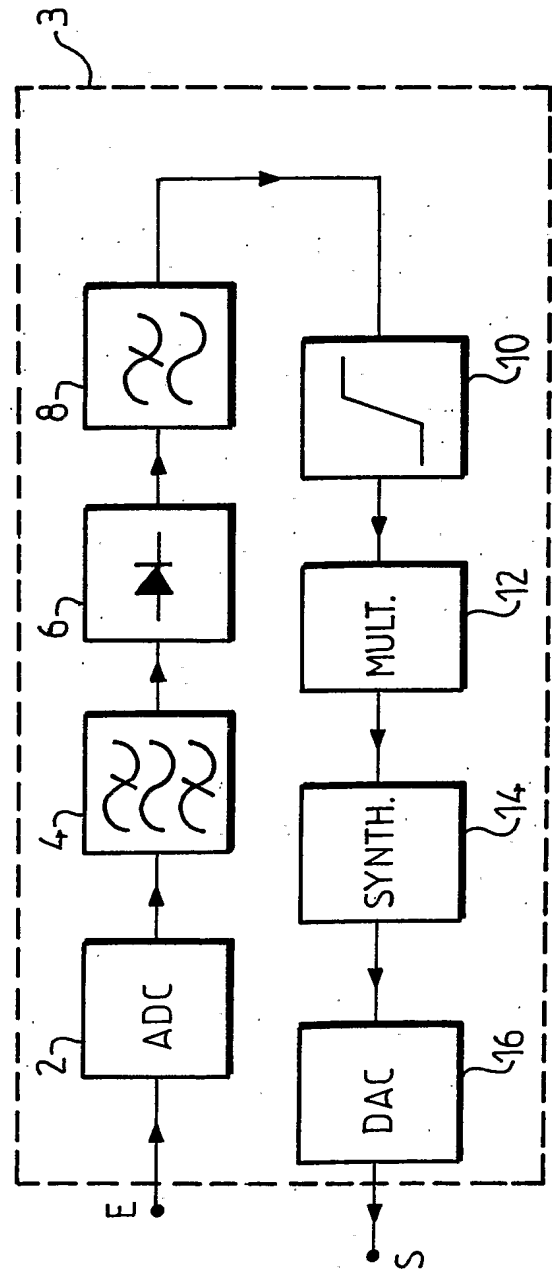


FIG.2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/003365

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G09B21/00 G09B19/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G10L G09B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 573 403 A (BELLER ISI ET AL) 12 November 1996 (1996-11-12) the whole document	1-9
Y	US 6 629 844 B1 (JENKINS WILLIAM M ET AL) 7 October 2003 (2003-10-07) abstract; figures 6,32,33	1-9
A	APOUX F ET AL: "TEMPORAL ENVELOPE EXPANSION OF SPEECH IN NOISE FOR NORMAL-HEARING AND HEARING-IMPAIRED LISTENERS: EFFECTS ON IDENTIFICATION PERFORMANCE AND RESPONSE TIMES" HEARING RESEARCH, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 153, no. 1/2, March 2001 (2001-03), pages 123-131, XP001159150 ISSN: 0378-5955 abstract; figure 1	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 April 2005

Date of mailing of the international search report

08/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Quélavoine, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/003365

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5573403	A	12-11-1996	FR	2686442 A1	23-07-1993
			AT	143521 T	15-10-1996
			CA	2128505 A1	22-07-1993
			DE	69305066 D1	31-10-1996
			DE	69305066 T2	06-03-1997
			EP	0623238 A1	09-11-1994
			ES	2093407 T3	16-12-1996
			WO	9314482 A1	22-07-1993
			US	5895220 A	20-04-1999
<hr/>					
US 6629844	B1	07-10-2003	US	6159014 A	12-12-2000
			US	6261101 B1	17-07-2001

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/003365

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G09B21/00 G09B19/04

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 G10L G09B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 573 403 A (BELLER ISI ET AL) 12 novembre 1996 (1996-11-12) le document en entier	1-9
Y	US 6 629 844 B1 (JENKINS WILLIAM M ET AL) 7 octobre 2003 (2003-10-07) abrégé; figures 6,32,33	1-9
A	APOUX F ET AL: "TEMPORAL ENVELOPE EXPANSION OF SPEECH IN NOISE FOR NORMAL-HEARING AND HEARING-IMPAIRED LISTENERS: EFFECTS ON IDENTIFICATION PERFORMANCE AND RESPONSE TIMES" HEARING RESEARCH, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 153, no. 1/2, mars 2001 (2001-03), pages 123-131, XP001159150 ISSN: 0378-5955 abrégé; figure 1	1-9

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### ° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 avril 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

08/04/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Quélavoine, R



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Henseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/003365

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5573403	A	12-11-1996	FR 2686442 A1	23-07-1993
			AT 143521 T	15-10-1996
			CA 2128505 A1	22-07-1993
			DE 69305066 D1	31-10-1996
			DE 69305066 T2	06-03-1997
			EP 0623238 A1	09-11-1994
			ES 2093407 T3	16-12-1996
			WO 9314482 A1	22-07-1993
			US 5895220 A	20-04-1999
<hr/>				
US 6629844	B1	07-10-2003	US 6159014 A	12-12-2000
			US 6261101 B1	17-07-2001
<hr/>				